

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02056

研究課題名(和文) 超音波による液晶ダイナミクスと高速光計測への展開

研究課題名(英文) Liquid crystal dynamics by ultrasound and its application to high-speed optical measurements

研究代表者

小山 大介 (Koyama, Daisuke)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：50401518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超音波による液晶配向技術および、本技術の光計測への応用について検討した。研究結果として、超音波振動と液晶分子配向の関係性について定量的に評価した。具体的な光学デバイスとして、超音波によって焦点距離を制御可能な液晶可変焦点レンズを開発した。レンズへの入力信号によって、レンズ径の拡大・縮小、レンズ径方向も含めた3次元内の焦点位置制御を実現した。さらに液晶レンズのみならず、ゲル材料を用いることにより、人間の眼の機構を模倣した、自身の形状を変化することにより焦点距離を制御可能なゲルレンズの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カメラやスキャナのような光学デバイスではレンズやミラーのような光を屈折、集光、反射する光学素子を移動、回転させることによって光を時間的、空間的に制御している。今後スマートフォンなどの電子デバイスの小型・薄型化や車載用モニタリングデバイスへの応用を考えた場合、これらの機械的可動部の存在はデメリットと言える。本研究では光学素子の位置を動かすことなく、その屈折率分布を超音波と液晶を用いて高速に変化することにより、同じ光学的機能をより小型・薄型な構造で実現する手法について検討した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated a method to control the molecular orientation of liquid crystal and the application to optical measurement techniques. As the results, the relationship between the ultrasound vibration and the liquid crystal molecular orientation was evaluated quantitatively. A method to control the lens aperture and three-dimensional focusing including the radial direction of the lens were realized. Ultrasound gel lenses using a combination of ultrasound and viscoelastic transparent materials, that can control the focal point by changing its shape, were also developed.

研究分野：波動応用デバイス

キーワード：超音波 液晶 レンズ 光計測

1. 研究開始当初の背景

光スキャナの様な一般的な光走査デバイスでは、レーザ光をガルバノミラー等の光学素子を機械的に回転・移動させて光を走査する必要がある。また、カメラで画面奥行き方向に高速で移動する物体に常にピントを合わせて撮影する場合、アクチュエータやギア機構を通じて連続的かつ高速にレンズを光軸方向へ移動させて、光の焦点を移動させなければならない。従って、これらの光学デバイスの走査速度と走査範囲はアクチュエータなどの機械的性能によって決定づけられる。一般的に走査速度と走査範囲にはトレードオフの関係があり、これらの性能指標は装置のサイズにも密接に関係する。例えばスマートフォンなどに搭載されるカメラモジュールでは、レンズとレンズを動かすためのアクチュエータで構成されるため、全体の厚みは 5 mm 程度、応答時間は数 10 ms 必要となる。高速アクチュエータを用いることにより、レンズを応答時間数 ms レベルで高速移動するシステムが開発されているが装置自体は非常に大型化する。すなわち、光計測デバイスの小型化と高速化の間にもトレードオフの関係が存在し、機械的可動部を組み込んだデバイスではこれらの両立には限界がある。将来的な体内診断技術や産業デバイスへの応用展開を考えると、小型化と高速化の両立は光計測分野における課題である。そこで本研究では、機械的可動部を持たず、レンズやミラーなどの光学素子を動かすことなく光路中の屈折率を変化し、高速な光走査が可能なデバイスの開発およびそれを応用した光計測技術について検討する。

2. 研究の目的

本研究では、超音波によって液晶の屈折率分布を高速かつ大振幅で変化させることにより、光を空間的・時間的に高速制御する技術について検討する。液晶は光学異方性が大きい材料であり、液晶分子の集団的配向を変化することにより、平均的な屈折率を変化することができる。本研究では液晶分子の配向を超音波の放射力によって高速に変化、制御することにより、液晶層透過光の高速制御を行う。その実現可能性を検討するための第一段階として、超音波が液晶分子の配向に与える影響とその物理メカニズムを検討する。第二段階として、本技術を利用した光学デバイスとして、焦点位置を高速に変化可能な光学レンズを開発する。現在のスマートフォンなどに搭載されるカメラモジュールの様に、焦点変化時にアクチュエータなどの機械的可動部によってレンズの位置を動かすのではなく、超音波によって液晶分子の配向を変化させ、その焦点位置を高速に変化可能な可変焦点レンズである。レンズは基板に挟まれた液晶層と圧電素子のみで構成される機械的可動部を持たない構造であるため、小型・薄型化可能である。液晶中を音速で伝搬する超音波の放射力により屈折率が変化するため、従来技術の機械式と比較して 1 桁程度短い時間応答が期待でき、応答時間 10 ms を目指す。第三段階として、開発したデバイスを用いた高速光計測技術を検討する。

3. 研究の方法

超音波によって引き起こされる液晶ダイナミクスとその光学的応用に関する下記項目について、以下の方法によって検討を行った。

(1) 超音波による液晶配向制御の定量的評価

3次元配向分布の計測手法の開発

これまでに我々のグループで開発した、超音波による液晶配向制御技術の物理メカニズムを解明するため、超音波液晶セル内の液晶分子配向を 3 次元的に評価する光学計測系の開発を行った。超音波液晶デバイスとして、下記(2)の超音波液晶レンズ(図1)を用いて計測を行った。レンズは 2 枚の円形ガラス基板 (a) 直径 15 mm, (b) 30 mm) の表面に、ポリイミド製の液晶垂直配向膜を成膜している。ガラス基板 (b) にアニュラ型圧電超音波振動子 (PZT, 内径 20 mm, 外形 30 mm) を接着した。ガラス基板間周辺部に真球形シリカガラス (50 μm) をスペーサとして挟み、ネマチック液晶を基板間スペースに注入し厚さ 50 μm の液晶層を形成した。互いに 90 度の向きとなる様配置 (クロスニコル配置) した 2 枚の偏光板間に超音波液晶レンズを設置し、光 (He-Ne レーザ) をレンズに垂直に入射し、光軸を軸として液晶レンズを回転しながらその透過光を解析することによって、液晶レンズ内の液晶分子配向を 3 次元的に測定する光学観測手法を開発した (図 2)。

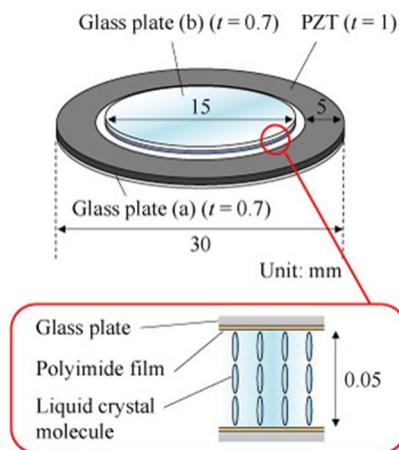


図 1 超音波液晶レンズ

クリスタルローテーションによる液晶配向の定量的評価
 従来から広く用いられている液晶分子配向評価手法の一つであるクリスタルローテーション法によって、超音波液晶レンズの液晶配向分布を2次的に測定した。液晶層厚み方向に対する液晶分子傾斜角度を、理論値と実測値のフィッティングによって定量的に推定した。本測定系を用いて、超音波振動分布と液晶配向分布の関係性について検討した。

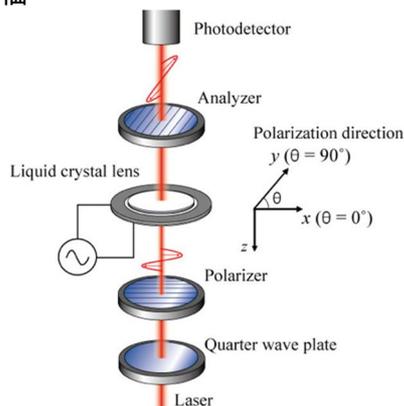


図2 液晶配向測定用光学系

(2) 超音波液晶レンズの開発

液晶層厚みの最適化

超音波液晶レンズ(図1)の液晶層を100~300 μmまで変化することによって、超音波液晶レンズにとって最適な液晶層厚みについて実験的に検討した。また、本実験結果より、液晶層内における超音波による液晶分子の動的応答について考察を行った。

有効レンズ径の制御

超音波液晶レンズの圧電振動子を径方向に90度毎に4分割し、各振動子への入力信号の振幅・位相差を制御することによって、多機能超音波液晶レンズの開発を行った(図3)。その一例として、有効レンズ径の制御法の開発を行った。4つの振動子への入力信号に90度の時間的位相差を与えることによって、レンズ周方向に超音波進行波を発生させ、これによってレンズ径の拡大を狙った。レンズの光学的評価として、波面センサによる光計測を行った。

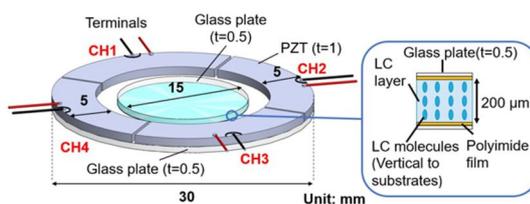


図3 多機能超音波液晶レンズ

径方向への焦点制御

上記(2)と同様の超音波液晶レンズ(図3)を用い、レンズの径方向にも焦点位置を制御可能な可変焦点レンズの開発を行った。本技術はスマートフォンや車載カメラなどの撮影時において発生する振動を抑制するための手振れ補正機能にも応用できる。レンズの光学的評価として、レーザドップラ振動計による振動解析と、液晶レンズと光学顕微鏡を組み合わせた光学観測系によって取得した顕微画像による画像解析を行った。

(3) 超音波ゲルレンズの開発

液晶レンズの開発段階で派生した、透明粘弾性体(ゲル)と超音波を組み合わせた可変焦点レンズの開発を行った。チキソトロピー性ゲルを用いることにより、超音波駆動に伴って生じたゲル変位が、超音波駆動停止後も引き続き維持される可変焦点機能の実現を狙った。レンズはアニュラ型圧電超音波振動子に円形ガラス板を接着し、振動子中心箇所透明ゲルを充填する簡素な構造を有する。

4. 研究成果

(1) 超音波による液晶配向制御の定量的評価

3次元配向分布の計測手法の開発

作製した超音波液晶デバイス(液晶レンズ)に連続正弦波信号を入力すると、デバイスの共振周波数において基板上にたわみ振動モードが励振され、液晶層に音響放射力が働き、液晶分子の配向が静的に変化した。図4はレンズ中心部分(5×5 mm²)の基板振動分布(コンター図)と液晶配向分布(ベクトル図)であり、ガラス基板にはレンズ中心部分の振動振幅が最も大きい共振たわみ振動が発生した。また、液晶分子は基板の超音波振動が大きい腹の位置に向かって軸対称に配向し、振動の小さい節円に沿って配向していることがわかる。特に液晶分子の傾きの大きさは、超音波振動の空間勾配に依存し、腹と節の中間の位置で最も大きくなった。すなわち、デバイスの振動モードによって液晶配向および透過光分布を制御できることが明らかとなった。

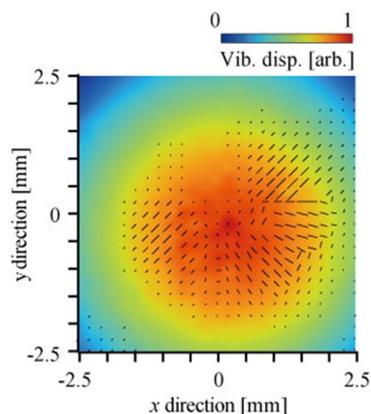


図4 液晶レンズの振動分布と液晶分子配向

クリスタルローテーションによる液晶配向の定量的評価

図5は作製した超音波液晶デバイス（液晶レンズ）における、レンズ径方向の超音波振動分布と厚み方向に対する液晶傾斜角度の分布を表しており、液晶レンズには基本たわみ振動が励振されている。本結果は図1と同様に、超音波振動の空間勾配の大きい箇所において液晶分子傾斜角度が大きくなることを意味している。また超音波振動下における液晶配向角度を定量的に測定することに成功した。すなわちクリスタルローテーションによって、超音波駆動下における超音波液晶デバイスの超音波振動分布と液晶配向分の関係が明らかとなった。

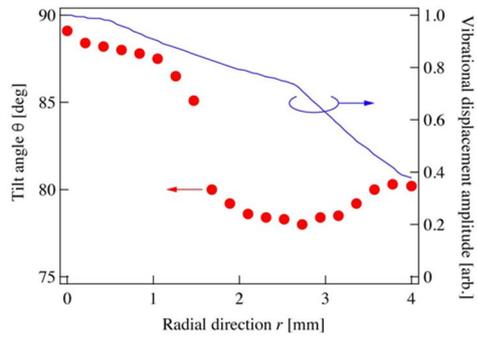


図5 液晶レンズの液晶分子傾斜角度と超音波振動分布

(2) 超音波液晶レンズの開発

液晶層厚みの最適化

図6は液晶層厚み変化時の超音波液晶レンズの消費電力と焦点変化距離の関係を表している。いずれの液晶厚みにおいても、消費電力の増加と共に焦点変化距離が増大することが確認できる。また本結果より、液晶層厚み200 μmの場合に最も焦点変化距離が増大することがわかり、本研究で開発した直径30 mmの超音波液晶レンズにとって最適値と言える。本結果は、配向膜による液晶分子の強制力と超音波による音響放射力とのバランスによって液晶層厚み方向の配向が決定されるため、液晶層厚みに最適値が存在することを意味している。

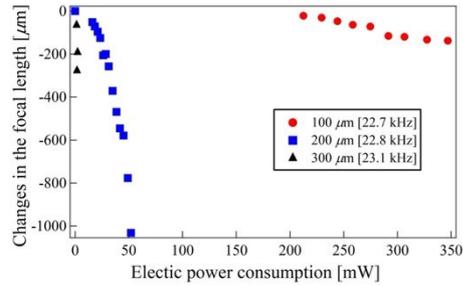


図6 液晶レンズ消費電力と焦点距離の関係

有効レンズ径の制御

図7はレンズに搭載した4つの振動子を同相駆動した場合（定在波（SW）を励振した場合）と4相駆動時（進行波（TW）を励振した場合）のレンズ径方向の屈折率分布を表している。4相駆動によって、同相駆動と比較してレンズ中心部分の有効レンズ幅が約2倍に拡大していることがわかり、各超音波振動子への入力信号によってレンズ径を制御することが可能となった。

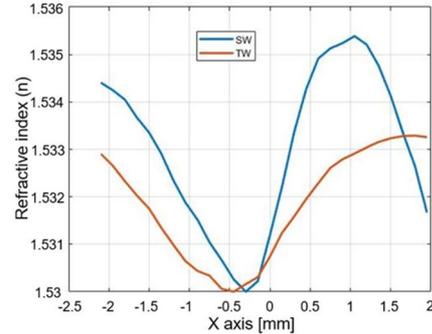


図7 液晶レンズの径方向屈折率分布

径方向への焦点制御

図8はレンズに搭載した4つの振動子の各入力電圧信号を調整した際のレンズによる撮影顕微画像である。(a)は非駆動時、(b)は同相駆動時、(c)は径方向焦点移動に適した入力信号による駆動時。また同図中下段は撮影画像の鮮明度から判断したフォーカスピクセル（ピントが合ったピクセル）と非フォーカスピクセル（ピントが合わないピクセル）の分布を表している。同図より、非駆動時(a)では不鮮明であった画像が、同相駆動(b)によって画面全体に渡ってフォーカスピクセル数が増大しており、これは光軸方向に対してピント調整が可能であることを意味している。一方、各振動子への電圧調整をした場合(c)は、画面右側のフォーカスピクセル数が画面左側のそれに比べて増大していることがわかる。これらの結果より、各振動子への入力信号によって、レンズ焦点位置を光軸および径方向を含めた3次元内で制御することが可能となった。

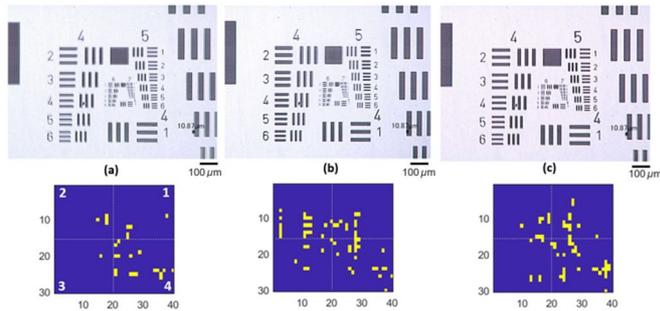


図8 液晶レンズの3次元焦点変化のようす

(3) 超音波ゲルレンズの開発

図9はゲルレンズ駆動時におけるレンズ表面(すなわちゲル表面)形状の断面図の時間変化を表している。同図では、時間 $t=0$ において超音波駆動、すなわち電力供給を止めているものの、その後5分後においても、ゲルのチキソトロピー性によってレンズ表面の変形形状は維持されていることがわかる。また音響放射力によってゲル中心は凸レンズとして作用することがわかり、入力電圧振幅値によってレンズの焦点距離を制御することができた。さらにゲル変形の維持率をゲル原料2種の配合比を変化して測定した結果、この配合比が大きいほど変形維持率が大きい結果となった。

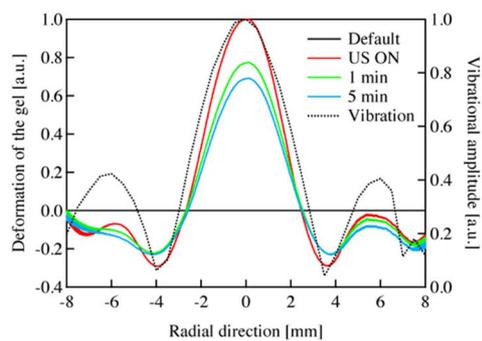


図9 ゲルレンズ表面変形の時間変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Onaka Jessica, Iwase Takahiro, Fukui Marina, Koyama Daisuke, Matsukawa Mami	4. 巻 46
2. 論文標題 Ultrasound liquid crystal lens with enlarged aperture using traveling waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1169 ~ 1169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.414295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Harada Yuki, Koyama Daisuke, Fukui Marina, Emoto Akira, Nakamura Kentaro, Matsukawa Mami	4. 巻 10
2. 論文標題 Molecular Orientation in a Variable-Focus Liquid Crystal Lens Induced by Ultrasound Vibration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-62481-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 小山大介	4. 巻 75
2. 論文標題 超音波による可変焦点光学レンズ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 460-466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20697/jasj.75.8_460	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sakata Daiko, Iwase Takahiro, Onaka Jessica, Koyama Daisuke, Matsukawa Mami	4. 巻 149
2. 論文標題 Varifocal optical lens using ultrasonic vibration and thixotropic gel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 3954 ~ 3960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/10.0005195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwase Takahiro, Onaka Jessica, Emoto Akira, Koyama Daisuke, Matsukawa Mami	4. 巻 61
2. 論文標題 Relationship between liquid crystal layer thickness and variable-focusing characteristics of an ultrasound liquid crystal lens	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1013 ~ SG1013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac48d1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Onaka Jessica, Iwase Takahiro, Emoto Akira, Koyama Daisuke, Matsukawa Mami	4. 巻 60
2. 論文標題 Ultrasound liquid crystal lens with a variable focus in the radial direction for image stabilization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 10365 ~ 10365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.443945	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Onaka Jessica, Koyama Daisuke, Kuroda Yuma, Emoto Akira, Matsukawa Mami	4. 巻 131
2. 論文標題 Optical evaluation of a double-layered ultrasound liquid crystal lens	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 193103 ~ 193103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0091093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwase Takahiro, Kuroda Yuma, Onaka Jessica, Emoto Akira, Matsukawa Mami, Koyama Daisuke	4. 巻 61
2. 論文標題 Orientation angles of liquid crystals via ultrasound vibrations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 068002 ~ 068002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac6e1a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 T. Iwase, J. Onaka, D. Koyama, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa
2. 発表標題 Concave liquid crystal lens with a large aperture using ultrasound traveling wave
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Onaka, T. Iwase, D. Koyama
2. 発表標題 Variable-focus in radial direction in liquid crystal lens using ultrasound vibration
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂田大昂, 岩瀬貴大, 小山大介, 松川真美,
2. 発表標題 チキソトロピーゲルを用いた超音波式可変焦点レンズの光学特性
3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jessica Onaka, Takahiro Iwase, Marina Fukui, Daisuke Koyama, Mami Matsukawa
2. 発表標題 Expansion of ultrasonically controlled liquid crystal lens aperture using traveling wave
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Harada, M. Fukui, D. Koyama, M. Matsukawa, K. Nakamura
2 . 発表標題 Evaluation of liquid crystal molecular orientation in an ultrasound liquid crystal lens
3 . 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Fukui, Y. Harada, D. Koyama, K. Nakamura, M. Matsukawa
2 . 発表標題 Effect of physical properties of liquid crystal materials on ultrasound variable-focus lenses
3 . 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Harada, M. Fukui, A. Emoto, D. Koyama, M. Matsukawa
2 . 発表標題 Evaluation of liquid crystal orientation in an ultrasound large-aperture liquid crystal lens
3 . 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 小山大介
2 . 発表標題 Ultrasound variable-focus liquid crystal lens
3 . 学会等名 19-2 フォトニクスポリマー研究会 (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Jessica Onaka, Yuki Harada, Marina Fukui, Daisuke Koyama, Mami Matsukawa
2. 発表標題 Variable-focus in radial direction in liquid crystal lens using acoustic radiation force
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田裕生, 福井鞠奈, 小山大介, 江本顕雄, 松川真美
2. 発表標題 超音波を用いた大口径液晶レンズの分子配向評価
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井鞠奈, 小山大介, 原田裕生, 江本顕雄, 中村健太郎, 松川真美
2. 発表標題 超音波型液晶レンズの透過光特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩瀬貴大, 原田裕生, 福井鞠奈, 小山大介
2. 発表標題 超音波液晶レンズの形状が光学特性に与える影響
3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Onaka, T. Iwase, D. Koyama, M. Matsukawa
2. 発表標題 Evaluation of the Optical Characteristics of the Liquid Crystal Lens Using a Shack-Hartmann Wavefront Sensor
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Onaka, T. Iwase, D. Koyama, M. Matsukawa
2. 発表標題 Ultrasound Liquid Crystal Lens with Radial Focal Displacement
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Iwase, J. Onaka, D. Koyama, A. Emoto, M. Matsukawa
2. 発表標題 Measurement of the Orientational Angle of Liquid Crystal Molecules Induced by Ultrasound Vibration
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本隼佑, 岩瀬貴大, 小山大介, 松川真美
2. 発表標題 超音波振動を用いた凹凸両面シリコンゲルレンズの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jessica Onaka, Takahiro Iwase, Daisuke Koyama, Mami Matsukawa
2. 発表標題 Ultrasound liquid crystal lens based on multichannel transducer for image stabilization
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩瀬貴大, ジェシカオナカ, 江本顕雄, 小山大介, 松川真美
2. 発表標題 超音波振動下における液晶レンズ内部の液晶配向の測定
3. 学会等名 ,日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩瀬貴大, ジェシカオナカ, 小山大介, 松川真美
2. 発表標題 液晶層厚みが超音波式液晶レンズの光学特性に与える影響
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田悠真, 岩瀬貴大, オナカ ジェシカ, 江本顕雄, 小山大介, 松川真美
2. 発表標題 液晶層多層化が超音波式液晶レンズの光学特性に与える影響
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本隼佑, 中村光佑, 小山大介
2. 発表標題 超音波振動によるシリコンゲルレンズの径方向形状制御
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 超音波式液晶レンズおよび超音波式液晶レンズの制御方法	発明者 小山大介, ジェシカ ミエコジラスオナカ	権利者 同志社大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-011098	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 可変焦点ゲルレンズおよび可変焦点ゲルレンズの制御方法	発明者 小山大介, 坂田大昂	権利者 同志社大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-011097	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 レンズ装置およびレンズ制御方法	発明者 小山大介, 橋本隼佑	権利者 同志社大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-022334	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 Liquid-Crystal Varifocal Lens and Focal Length Control Method	発明者 Daisuke Koyama, Yuki Shimizu	権利者 Doshisha University
産業財産権の種類、番号 特許、10481429	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

同志社大学理工学部超音波エレクトロニクス・応用計測研究室 https://use.doshisha.ac.jp

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	松川 真美 (Matsukawa Mami) (60288602)	同志社大学・理工学部・教授 (34310)	
研究 分 担 者	江本 顕雄 (Emoto Akira) (80509662)	徳島大学・ポストLEDフォトンクス研究所・特任講師 (16101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関